



RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE

Liberté
Égalité
Fraternité

IRSN
INSTITUT DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

Fontenay-aux-Roses, le 19 juillet 2023

Monsieur le Président de l'Autorité de sûreté nucléaire

AVIS IRSN N° 2023-00114

Objet : EDF – REP – Réacteurs du palier CPY – Modification du système de lubrification de la motopompe de la voie B du système d'alimentation de secours des générateurs de vapeur.

Réf. : [1] Saisine ASN – CODEP – DCN – 2023-000514 du 8 février 2023.
[2] Avis IRSN – 2023-00048 du 31 mars 2023.

En réponse à la saisine de l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) en référence [1], l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) a examiné l'impact sur la sûreté de la modification du système de lubrification de la motopompe voie B du système d'alimentation de secours des générateurs de vapeur (ASG), soumise à l'autorisation de l'ASN par Électricité de France (EDF) le 21 avril 2022, conformément aux dispositions de l'article R.593-56 du code de l'environnement.

1. CONTEXTE ET DESCRIPTION DE LA MODIFICATION

En réponse aux prescriptions techniques de l'ASN concernant l'évacuation de la puissance résiduelle dans les situations H1¹ et H1+H3² consécutives à des agressions externes d'intensité noyau dur (ND), EDF prévoit de modifier l'installation pour garantir :

- l'alimentation en eau des générateurs de vapeur (GV), via la motopompe ASG de la voie B, dans les domaines de fonctionnement « réacteur en production » (RP) à « arrêt pour intervention – circuit primaire entrouvert » API-EO (piscine non remplissable), pour refroidir le cœur et évacuer la puissance résiduelle par le circuit secondaire ;
- un appoint en eau à la piscine du bâtiment combustible (BK) dans l'ensemble des domaines de fonctionnement, et un appoint à la piscine du bâtiment réacteur (BR), dans le domaine de fonctionnement « arrêt pour rechargement » (APR) lorsque le tube de transfert est ouvert, afin d'évacuer la puissance résiduelle et d'éviter le découverture des assemblages de combustible.

Bien qu'elle concerne d'autres systèmes que l'ASG, cette modification est appelée de manière simplifiée « ASG ND ».

¹ H1 : perte totale de la source froide.

² H3 : perte totale des alimentations électriques externes et internes ou perte des tableaux secourus par défaillances intrinsèques.

MEMBRE DE
ETSON

Le dossier en support de la demande de modification « ASG ND » comporte plusieurs tomes. Les seuls tomes soumis à l'autorisation de l'ASN sont le tome I, objet du présent avis, et le tome C qui a été soumis à l'autorisation de l'ASN dans le cadre du dossier d'amendement associé à la deuxième phase (B) du quatrième réexamen périodique des réacteurs du palier CPY et qui a fait l'objet d'un examen de l'IRSN dans le cadre de l'avis en référence [2].

Le système ASG des réacteurs du palier CPY est équipé de deux motopompes, l'une appartenant à la voie A et l'autre à la voie B, et d'une turbopompe.

À l'issue de la mise en œuvre de la modification « ASG ND » dans sa totalité, en situation ND, l'alimentation en eau des GV sera assurée par la motopompe de la voie B, prélevant de l'eau dans la bêche ASG dont le remplissage sera réalisé par une pompe située au niveau du poste de vannage du système SEG. La motopompe de la voie B pourra être alimentée électriquement par le groupe électrogène d'ultime secours (DUS).

L'objectif du tome I de la modification est de rendre robuste au séisme de niveau noyau dur (SND) la motopompe de la voie B qui appartient au ND. Pour ce faire, le circuit de lubrification du dispositif actuel de guidage en rotation de l'arbre de la pompe sera supprimé, et les paliers actuels seront remplacés par des paliers auto-lubrifiés. Selon EDF, cette modification permettra de lever les difficultés récurrentes rencontrées avec ce circuit et nécessitant des actions de maintenance fréquentes, ce qui globalement contribuera à améliorer la fiabilité et la disponibilité en exploitation de la motopompe.

Concrètement, la modification « ASG ND » Tome I consiste à remplacer, lors d'un arrêt de réacteur, la pompe existante par une pompe modifiée dont les circuits de lubrification et de réfrigération de l'huile auront été supprimés. Une noria de remplacement est mise en place ; ainsi, les premières pompes de remplacement seront neuves et les suivantes seront des pompes précédemment déposées et reconditionnées.

Outre le retrait du circuit de lubrification existant raccordé au système ASG et du circuit de réfrigération associé, les principales modifications apportées à la motopompe de la voie B sont :

- le remplacement de l'accouplement de liaison au moteur ;
- côté accouplement, le remplacement d'un palier lisse par un palier constitué d'un roulement à rouleaux cylindriques ;
- côté opposé à l'accouplement, le remplacement d'un palier lisse et de la butée à patins respectivement par un palier constitué d'un roulement à billes et par un roulement de type butée à rotules sur rouleaux ;
- le remplacement des capteurs actuels de température par des thermocouples compatibles avec la chaîne de mesure actuelle. Ces capteurs surveilleront la température des paliers côté accouplement et côté opposé à l'accouplement ;
- l'ajout d'un ventilateur fixé en bout d'arbre côté libre afin d'assurer le refroidissement du palier et de la butée.

La présente modification concerne l'ensemble des réacteurs de 900 MWe du palier CPY. Sa première mise en œuvre est programmée sur le réacteur n° 1 du site du Tricastin lors de sa visite partielle prévue en septembre 2023.

2. ANALYSE DE L'IRSN

À la demande de l'ASN, l'avis de l'IRSN porte sur la non-régression pour la sûreté lors de la mise en œuvre et l'exploitation de la modification « ASG ND » Tome I, et en particulier sur :

- l'impact sur la sûreté lors des travaux de réalisation de la modification et notamment sur la modification temporaire des spécifications techniques d'exploitation (STE) ;
- l'impact sur la sûreté lors de l'exploitation de la modification ;
- le programme de requalification réalisé à l'issue de la modification ;
- l'évolution des règles d'essais périodiques (EP) du système ASG.

Concernant l'impact de la modification en exploitation, la garantie que la pompe modifiée aura la capacité de remplir ses missions en fonctionnement normal et accidentel sera apportée par une qualification. La réalisation des derniers essais de qualification de la nouvelle pompe ayant été retardée, les éléments nécessaires à l'expertise de la qualification de la pompe par l'IRSN (le programme des essais de qualification et l'analyse réalisée par EDF des résultats de ces essais) n'ont pas été transmis à l'IRSN. Ainsi, la qualification de la pompe fera l'objet d'un avis ultérieur.

2.1. RÉALISATION DE LA MODIFICATION

EDF prévoit de mettre en œuvre les parades usuelles pour pallier les risques inhérents aux travaux de modification de la pompe tels que le risque FME³, le risque d'inondation interne induit par l'ouverture du circuit ASG, le risque d'agression d'EIPS⁴ au voisinage du chantier et le risque d'incendie inhérent à la vidange du circuit d'huile. **Ces éléments n'appellent pas de remarques de la part de l'IRSN.**

À la suite de la mise en place de la motopompe de la voie B modifiée, des essais de requalification seront nécessaires afin de vérifier l'atteinte des performances attendues dans les études de sûreté et pour s'assurer de la non-régression de la sûreté du fait de la modification. Ces essais doivent être réalisés dans des conditions thermohydrauliques représentatives d'un fonctionnement nominal de la motopompe ASG.

Ces conditions n'étant atteignables que dans les domaines d'exploitation AN/GV et RP, la motopompe ne pourra pas être considérée disponible au sens des STE dans les autres domaines d'exploitation jusqu'à sa requalification. Ainsi, EDF souhaite modifier temporairement les STE du palier CPY afin de considérer, lors du redémarrage du réacteur, la motopompe disponible une fois les essais de requalification élémentaire réalisés en amont du passage dans le domaine d'exploitation API-EO, et ce, jusqu'à l'achèvement de sa requalification fonctionnelle dans le domaine d'exploitation RP.

Les mesures compensatoires prévues par EDF dans ce cadre sont semblables aux mesures déjà acceptées dans le cadre de la requalification tardive des motopompes réalisée lors de chaque arrêt de réacteur. Ainsi, l'IRSN considère acceptable eu égard à la sûreté la modification temporaire des STE du palier CPY telle que proposée par EDF.

2.2. EXPLOITATION DE LA MODIFICATION

Comme indiqué supra, concernant l'impact de la modification en exploitation, la garantie que la nouvelle pompe aura la capacité de remplir ses missions en fonctionnement normal et accidentel sera apportée par une qualification, objet d'un avis ultérieur.

Ainsi, l'IRSN s'est ici plus particulièrement intéressé à l'impact organisationnel et humain associé à cette modification étant donné que, à l'issue de la présente modification, les deux motopompes du système ASG seront de conception différente, et bénéficieront d'une maintenance adaptée. Afin de pallier le risque d'erreur humaine associé, EDF a prévu plusieurs parades reposant notamment sur la formation du personnel. **Compte tenu du retour d'expérience du déploiement des modifications matérielles de grande ampleur récemment mises en œuvre, l'IRSN considère qu'EDF devra être vigilant et s'assurer :**

- **de l'adéquation du programme de formation aux besoins des intervenants ;**
- **dans le cas où les deux motopompes ASG ne seraient pas lubrifiées avec la même référence d'huile, de l'identification en local de cette particularité ;**
- **de la présence d'une étiquette autour du bouton de démarrage de la motopompe voie A afin de signaler la nécessité de démarrer sa pompe de pré-graissage.**

³ FME : Foreign material exclusion.

⁴ Élément important pour la protection des intérêts – Contribue à la prévention des risques liés aux accidents radiologiques.

2.3. ESSAIS DE REQUALIFICATION

Les essais de requalification prévus par EDF à l'issue de la mise en œuvre de la modification sont de deux types : des essais de requalification élémentaire en complément des essais réalisés par EDF en usine et des essais de requalification fonctionnelle.

Les essais de requalification élémentaire consistent principalement à vérifier le montage mécanique et à réaliser des contrôles en cas d'intervention sur les tuyauteries ASG connectées à la pompe.

Les essais de requalification fonctionnelle consistent à réaliser des essais de fonctionnement de la pompe modifiée, avec un débit proche de son débit nul puis en configuration d'alimentation des GV, et un essai de fonctionnement des deux motopompes en parallèle au régime nominal d'alimentation des GV.

Les essais de requalification fonctionnelle tels que prévus par EDF n'appellent pas de remarque de la part de l'IRSN. Toutefois, l'IRSN estime qu'EDF doit prendre en compte le retour d'expérience relatif aux phénomènes vibratoires sur les tuyauteries et les motopompes ASG dans l'établissement de son programme d'essais de requalification.

En effet, en 2008, un phénomène de pulsation de pression à l'aspiration des pompes ASG équipant les réacteurs du train P4 du palier 1300 MWe a été mis en évidence, provoquant des vibrations importantes au niveau des tuyauteries à l'aspiration des pompes (ces pulsations de pression apparaissaient en cas de concomitance de débits d'injection faibles et d'un niveau bas dans la bêche ASG). Dans l'attente de la réalisation de modifications de leur partie hydraulique permettant de palier ce phénomène, des mesures compensatoires ont été mises en place pour le réduire.

Des phénomènes de pulsation de pression en amont des pompes ASG avaient déjà été observés sur le train P'4 du palier 1300 MWe en 1986 et avaient conduit à une modification de l'hydraulique de ces pompes.

Enfin, tout récemment, des vibrations importantes ont été mises en évidence au niveau de deux pompes ASG d'un réacteur du train P'4 du palier 1300 MWe, vibrations qui, selon l'exploitant, augmentent avec le débit.

Selon l'IRSN, ces constats mettent en évidence que les phénomènes physiques liés au fonctionnement des pompes ASG sont complexes, ce qui nécessite d'avoir une approche prudente en cas de modification, même a priori mineure, de leur partie hydraulique. Ainsi, et même si les motopompes ASG du palier CPY semblent être moins sujettes à des phénomènes vibratoires que celles du palier 1300 MWe, l'IRSN estime nécessaire de compléter les analyses d'ingénierie et les différents essais déjà prévus par un essai tête de série, réalisé sur un site, en faisant varier le niveau d'eau dans la bêche ASG et pour des débits d'injection différents. Ces essais ne représentent pas de difficulté technique et peuvent être réalisés notamment lors du remplissage des générateurs de vapeur. **Ce point fait l'objet de la recommandation n° 1 présentée en annexe.**

2.4. ÉVOLUTIONS DU CHAPITRE IX DES RÈGLES GÉNÉRALES D'EXPLOITATION (RGE)

EDF fait évoluer, par une fiche d'amendement, le programme d'essais périodiques associé à la motopompe de la voie B du système ASG. De manière générale, EDF supprime les essais périodiques (EP) des matériels déposés (circuits de lubrification et de réfrigération de l'huile) et modifie les modalités de vérification périodique du bon fonctionnement de la pompe.

Les évolutions résultant de la suppression des circuits de lubrification et de réfrigération de l'huile n'appellent pas de remarques de la part de l'IRSN. Les modalités de vérification du bon fonctionnement de la pompe, en revanche, appellent les commentaires développés ci-après.

Le bon fonctionnement de la pompe est vérifié en s'assurant que les températures de ses composants les plus sensibles à la chaleur, que sont l'huile permettant la lubrification des paliers auto-lubrifiés et les trois roulements, n'atteignent pas leur température maximale admissible. EDF prévoit de s'assurer du respect de ces limites

fonctionnelles uniquement par la surveillance des températures de l'huile mesurées par deux thermocouples. **Ceci n'appelle pas de remarque de la part de l'IRSN.**

Critères associés aux seuils en température d'huile

Les deux mesures de température d'huile sont chacune associées, au titre du chapitre IX des RGE, à un critère qualifié « d'arrêt » par EDF, de groupe A, et à un critère qualifié « d'alarme » par EDF, de groupe B. EDF indique que le respect des seuils dits « d'arrêt » garantit qu'aucun composant de la pompe n'atteindra sa limite fonctionnelle dans les conditions normales, tandis que le respect des seuils dits « d'alarme », plus pénalisants, garantit qu'aucun composant de la pompe n'atteindra sa limite fonctionnelle en situations accidentelles.

Pour rappel, la section 1 du chapitre IX des RGE prescrit que les critères d'essais :

- dont le non-respect compromet un ou plusieurs objectifs de sûreté sont classés en groupe A ; ils sont issus des études de sûreté ou sont représentatifs de l'indisponibilité du ou des matériels requis ;
- dont l'évolution est caractéristique de la dégradation d'un équipement ou d'une fonction sans pour autant que ses performances ou sa disponibilité soient, après analyse, systématiquement remises en cause pendant la durée de mission, sont classés en groupe B.

Pour l'IRSN, le respect d'un seuil qui, s'il est dépassé en conditions accidentelles, remet en cause la disponibilité de la pompe, tel que le seuil qualifié « d'alarme » par EDF, doit donc faire l'objet d'un critère de groupe A et non d'un critère de groupe B. Dans ces conditions, EDF devra de plus définir un « vrai » critère d'alarme caractéristique de la dégradation de la motopompe voie B, comme cela est pratiqué pour toutes les pompes de sauvegarde, afin d'identifier une éventuelle dégradation. Ce point fait l'objet de **la recommandation n° 2 présentée en annexe.**

Établissement des seuils dits « d'alarme » de température d'huile

L'IRSN n'aborde ci-après que le mode d'établissement des seuils qualifiés « d'alarme » selon les termes d'EDF, étant donné que ce sont les seuls seuils qu'il estime pertinents.

La démarche retenue par EDF est la suivante :

EDF considère que les paramètres dont l'influence est prépondérante sur les températures de l'huile et des roulements sont :

- la température de l'air du local dans lequel se situe la motopompe voie B ;
- la température de l'eau traversant la motopompe voie B ;
- le débit d'eau traversant la motopompe voie B.

Il estime également que les températures de l'air et de l'eau peuvent varier respectivement de 8°C à 55 °C et de 7°C à 55 °C.

Ainsi, la valeur fixée pour les seuils de température de l'huile (tant côté accouplement que côté opposé à l'accouplement) doit permettre, si elle est atteinte lors d'un EP réalisé dans les conditions les plus favorables vis-à-vis de la température de l'huile, à savoir avec une température d'air de 8 °C et une température d'eau de 7 °C, de garantir, dans les conditions les moins favorables, à savoir une température d'air et une température d'eau de 55 °C, que les températures maximales admissibles de l'huile et des trois roulements ne sont pas atteintes.

EDF a retenu pour ces seuils de température d'huile, côté accouplement et côté opposé à l'accouplement, la valeur de 85 °C et il a vérifié que le principe ci-dessus était respecté si ce seuil n'est pas dépassé. Pour ce faire, il s'est appuyé à la fois sur des essais et sur des simulations numériques.

Cette analyse appelle les remarques suivantes de la part de l'IRSN.

Tout d'abord, aucune justification n'a été fournie concernant les températures maximales de l'air et de l'eau retenues par EDF pour son analyse. De même, aucune mesure ou simulation n'a été réalisée pour un débit d'eau

traversant la motopompe inférieur à 40 m³/h. Or des températures d'air et d'eau plus élevées et un débit plus faible sont de nature à entraîner une augmentation des températures d'huile. **Ce point fait l'objet de la recommandation n° 3 présentée en annexe.**

Par ailleurs, EDF n'a pas été en mesure de justifier les incertitudes prises en compte (ou l'absence de leur prise en compte) dans l'exploitation des résultats des essais et dans les simulations numériques. Il n'a pas non plus justifié le caractère pénalisant des hypothèses retenues concernant les données d'entrée pour ces simulations. En conséquence, l'IRSN ne dispose pas des éléments lui permettant de s'assurer que le respect de la valeur des seuils de température d'huile de 85 °C garantit le bon fonctionnement de la motopompe de la voie B en situations accidentelles. **Ce point fait l'objet de la recommandation n° 4 présentée en annexe.**

Enfin, l'IRSN estime que l'exploitation des essais de qualification, dont l'expertise par l'IRSN est à venir, devrait apporter des éléments quant à la bonne adéquation de ces seuils.

3. CONCLUSION

Les conditions de réalisation du Tome I de la modification « ASG ND » et la modification temporaire des STE nécessaire lors de sa mise en œuvre n'appellent pas de remarque de la part de l'IRSN.

L'analyse de l'impact organisationnel et humain lors de l'exploitation de cette modification a conduit l'IRSN à émettre un point de vigilance compte tenu notamment du fait que les deux motopompes ASG seront, à l'issue de la mise en œuvre de la modification, de conception différente, avec notamment une maintenance différente entre ces deux pompes.

Par ailleurs, les essais de requalification prévus par EDF n'appellent pas de remarque. Toutefois, afin de prendre en compte le retour d'expérience relatif aux phénomènes vibratoires sur les tuyauteries et les pompes ASG, l'IRSN estime qu'EDF doit vérifier le bon comportement de la motopompe ASG de la voie B après la mise en œuvre de la modification matérielle. Ce point fait l'objet d'une recommandation.

Concernant l'impact de la modification sur le chapitre IX des RGE, l'IRSN estime qu'EDF doit :

- établir de nouveaux critères de groupe A et de groupe B permettant respectivement de garantir la disponibilité de la motopompe ASG de la voie B en situation accidentelle et d'établir des critères d'alarme caractéristiques de sa dégradation ;
- justifier la méthode d'extrapolation et les hypothèses prises en compte pour l'établissement des valeurs des seuils de température à vérifier dans le cadre des essais périodiques.

Ces points font également l'objet de recommandations.

Enfin, compte tenu du retard pris par EDF dans la réalisation des essais de qualification de la motopompe ASG voie B modifiée, l'expertise de la qualification d'ensemble de cette pompe sera réalisée ultérieurement.

Ainsi, à l'issue de son expertise, l'IRSN considère qu'il ne dispose pas de l'ensemble des éléments nécessaires pour se prononcer quant à l'absence de régression de la sûreté après mise en œuvre du tome I de la modification « ASG ND ».

IRSN

Le Directeur général

Par délégation

Frédérique PICHEREAU

Adjoint au Directeur de l'expertise de sûreté

ANNEXE À L'AVIS IRSN N° 2023-00114 DU 19 JUILLET 2023

Recommandations de l'IRSN

Recommandation n° 1

L'IRSN recommande qu'EDF vérifie, lors d'un essai tête de série, le bon comportement de la motopompe ASG de la voie B pour différents niveaux d'eau dans la bêche ASG et débits d'injection qui seront représentatifs de ceux rencontrés en situations accidentelles.

Recommandation n° 2

L'IRSN recommande qu'EDF associe le respect des seuils en température d'huile qui garantissent qu'aucun composant de la pompe n'atteindra sa limite fonctionnelle en situations accidentelles à un critère d'essai périodique relevant du groupe A. Par ailleurs EDF devra établir des critères d'alarme, caractéristiques de la dégradation de la motopompe ASG de la voie B, relevant du groupe B.

Recommandation n° 3

L'IRSN recommande qu'EDF justifie la température maximale du local dans lequel se situe la motopompe ASG de la voie B ainsi que la température maximale et le débit minimal de l'eau traversant la pompe qu'il a considérés pour établir les critères de température d'huile à respecter.

Recommandation n° 4

L'IRSN recommande qu'EDF justifie le conservatisme des modalités d'établissement des seuils de température d'huile, côté accouplement et côté opposé à l'accouplement, à vérifier lors des essais périodiques de la motopompe ASG de la voie B, afin de garantir sa disponibilité en conditions accidentelles.